Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 22, No. 1, Spring 2024, p. 103-120

Evaluation of Rapeseed Production and Water Use Efficiency in Irrigation Regimes and Vermicompost Levels in Different Planting Dates

H. Eskandari[1], K. Kazemi[2*]

1- Associate Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
2- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: Kamyar.kazemi@pnu.ac.ir)

Received: 17 August 2023 Revised: 13 November 2023 Accepted: 22 November 2023 Available Online: 22 November 2023	**How to cite this article:** Eskandari, H., & Kazemi, K. (2024). Evaluation of Rapeseed Production and Water Use Efficiency in Irrigation Regimes and Vermicompost Levels in Different Planting Dates. *Iranian Journal of Field Crops Research, 22*(1), 103-120. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.83981.1263

Introduction

Rapeseed is the second most important plant for oil production in the country due to having more than 40% of oil in the seed, resistance to some environmental stresses, and suitable combination of fatty acids. Water deficit in the stage of reproductive growth severely affects the rapeseed yield because the number of seeds and the weight of seeds decrease. Water shortage in the flowering stage also reduces the seed oil percentage and oil yield of rapeseed. In some areas of Khuzestan province, rapeseed is mainly cultivated as a beak crop. This issue causes the growth period of rapeseed to coincide with the growth of some other crops. In this situation, some irrigation turns are necessarily allocated to other plants (including wheat, which is in the pollination stage, and okra, which is in the germination stage), which causes rapeseed to face water shortage, even in the flowering stage. Therefore, it is necessary to apply appropriate management methods to reduce the effects of drought stress on rapeseed during the flowering stage. Among these methods is the use of vermicompost fertilizer and changing the planting date. The present study aimed to address the following inquiries: What impact does vermicompost fertilizer, planting date, and drought stress during the flowering stage have on rapeseed seed and oil production? Can the utilization of vermicompost fertilizer and adjustments to planting dates mitigate the adverse effects of water deficit stress on rapeseed yield?

Materials and Methods

A field experiment was conducted at the research farm of Shadegan Payam Noor University, Khuzestan, Iran in 2022-23 growing season. The experiment was carried out as a three-factor factorial 2x3x2 with three repetitions. The experimental factors included planting date (November 25 and December 25), vermicompost fertilizer (0.0, 10, and 20 ton ha^{-1}), and irrigation (full irrigation and interruption of irrigation during the flowering stage). In each irrigation stage, the volume of irrigation water was measured and to calculate the efficiency of water consumption, the yield (seed and oil) was divided by the amount of evapotranspiration. At the maturity stage, the seed yield and its related traits included the number of pods per plant, the number of seeds per pod, the weight of 1000 seeds, biological yield, harvest index, oil and protein percentage of seed were calculated.

https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.83981.1263

Results and Discussion

Rapeseed had the highest seed yield (2667 kg ha^{-1}) on the planting date of November 25 with full irrigation, while delay in planting (planting date of November 25) and interruption of irrigation during the flowering stage resulted in the lowest seed yield (1247 kg ha^{-1}) which means a decrease of more than 50% in seed yield. However, if rapeseed is planted on December 25 and fully irrigated, it has a higher seed yield (about 15%) than planting on November 25, along with stopping irrigation during the flowering stage. A similar trend was observed in seed oil percentage and oil yield, so the highest and lowest percentage and yield of rapeseed oil were obtained on the planting date of November 25 with full irrigation and the planting date of December 25 and stopping irrigation at the flowering stage, respectively. The delay in planting and drought stress in the flowering stage reduced the percentage of rapeseed oil by 6% and the yield of oil by about 60%. On the planting date of November 25, rapeseed was superior to the planting date of December 25 in terms of the number of seeds, 1000-seed weight, biological yield, and water efficiency by 35, 25, 23, 18, and 38%, respectively.

Conclusion

Vermicompost fertilizer helped to improve rapeseed seed yield by providing important nutrients. Stopping irrigation during the flowering stage and delaying planting caused a decrease in seed yield and rapeseed oil production. Therefore, to obtain the maximum yield of seed and oil, it is recommended to plant on the 25th of November and full irrigation. It is better to modify the planting pattern in the region to prevent the flowering stages of rapeseed from encountering water shortage.

Keywords: Irrigation interruption, Manure, Oil percentage, Oil yield, Water consumption

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۲، شماره ۱، بهار ۱٤۰۳، ص ۱۲۰-۱۰۳

ارزیابی تولید و کارایی مصرف آب کلزا در رژیم‌های آبیاری و سطوح ورمی‌کمپوست در تاریخ کاشت‌های متفاوت

حمداله اسکندری[۱]، کامیار کاظمی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۱

چکیده

این آزمایش با هدف بررسی اثر تاریخ کاشت، کود ورمی‌کمپوست و قطع آبیاری در مرحله گلدهی بر تولید دانه و روغن و کـارایی مصـرف آب کلـزا به‌صورت اسپلیت‌پلات (تاریخ کاشت در کرت اصلی و آبیاری و ورمی‌کمپوست به‌صورت فاکتوریل در کرت فرعی) بـا سـه تکـرار در مزرعـه تحقیقـاتی دانشگاه پیام نور شادگان در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ اجرا گردید. تاریخ کاشت شامل دو تاریخ کاشت ۲۵ آبان و ۲۵ آذر، کود ورمی‌کمپوست شـامل سـه سطح صفر، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار و آبیاری شامل آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی بود. صـفات اندازه‌گیری‌شـده شـامل عملکـرد و اجـزای عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن و کارایی مصرف آب (برای تولید دانه و روغن) بـود. نتـایج نشـان داد عملکـرد بیولوژیـک و شـاخص برداشـت بـا کم‌آبیاری کلزا به‌ترتیب ۱۶ و ۱۳ درصد کاهش یافتند. بیشترین عملکرد دانه (۲۶۶۷ کیلوگرم در هکتار) کلزا در تاریخ کاشت ۲۵ آبان همـراه بـا آبیـاری کامل (بدون قطع آبیاری در مرحله گلدهی) به‌دست آمد و با تاخیر یک ماهه در کاشت (تاریخ کاشت ۲۵ آذر)، عملکرد دانه کلزا حـدود ۵۸ درصـد دچـار افت گردید. کارایی مصرف آب کلزا (روغن) با قطع آبیاری ۲۹ درصد افزایش یافت. کلزا در تاریخ کاشت ۲۵ آبان از نظر صفات تعداد دانـه در خـورجین، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب به‌ترتیب ۳۵، ۲۵، ۲۳، ۱۸ و ۳۸ درصد نسبت به تاریخ کاشت ۲۵ آذر برتری داشت. قطع آبیاری در مرحله گلدهی، عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن کلزا را به‌ترتیب ۵۸، ۶ و ۶۰ درصد کاهش داد. با کاشت کلزا در تاریخ ۲۵ آبان و آبیاری کامل، بیشترین عملکرد دانه به‌دست می‌آید. با این حال، اثر احتمالی تاریخ کاشت‌های قبل از ۲۵ آبان بر کاهش اثر قطع آبیـاری در مرحلـه گلـدهی، نیـاز بـه تحقیقات بیشتر دارد.

واژه‌های کلیدی: درصد روغن، عملکرد روغن، قطع آبیاری، کود، مصرف آب

مقدمه

بر اساس پیش‌بینی‌ها، مصرف روغن در جهان تا سـال ۲۰۳۰ بـه حدود ۲۰۰ میلیـون تـن خواهـد رسـید (Dossa *et al*., 2017). ایـن موضوع اهمیت تولید روغن در اقتصاد هر کشور را نشان مـی‌دهـد. بـا این حال، روغن تولیدشده از طریق کشت دانه‌هـای روغنـی نتوانسـته است پاسخگوی نیازهـای کشـور بـه ایـن مـاده غـذایی مهـم باشـد به‌طوری‌که در طی سال‌های طولانی، خودکفایی کشور در تولید روغن تنهـا حـدود ۱۰ درصـد بـوده اسـت (Eskandari & Alizadeh-Amraie, 2016). سرانه مصرف روغن در ایران ۱۰ درصد از متوسـط جهانی بیشتر است که ایـن موضـوع منجـر بـه واردات بـیش از یـک میلیـون تـن روغـن در سـال ۱۳۹۸ شـده اسـت (Mohammadi, Mohammadi, & Javid, 2023). به همین دلیل در سال‌های اخیر، توجه بیشتری به کشت دانه‌های روغنی شده است. کلـزا (*Brassica napus*) به دلیل داشـتن بـیش از ۴۰ درصـد روغـن در دانـه (Zali, Hasanloo, Sofalian, & Asghari, 2020)، مقاومـت بـه برخـی تنش‌هـای محیطـی (Kaboosi, Nodehi, & Shamiati, 2019) و ترکیب مناسب اسیدهای چرب (Moradbeigi, Gholami, Shirani Rad, Abbasdokht, & Asghari, 2018) بعد از سـویا (*Glycine*

۱- دانشیار گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲- استادیار گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: kamyar.kazemi@pnu.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.83981.1263

max)، دومین گیاه مهم برای تولید روغن در کشور است. در این بین، استان خوزستان که بر اساس آخرین آمار منتشرشده (سال ۱۴۰۱) با داشتن سطح برداشت بیش از ۱۵۳ هزار هکتار و تولید ۲۹۱ هزار تن کلزا، سهم ۳۸ درصدی از کل تولید کلزا در کشور (رتبه اول تولید) را به خود اختصاص داده است (Ashraf-Jahani, 2023) پتانسیل ویژه‌ای را برای افزایش تولید روغن در کشور ایجاد کرده است.

یکی از مزیت‌هایی که کلزا نسبت به سایر دانه‌های روغنی دارد قابلیت کشت پاییزه آن است که باعث افزایش پتانسیل تولید و بهره‌برداری بیشتر از رطوبت می‌شود (Eskandari & Alizadeh-Amraie, 2016). با این حال، تنش کمبود آب در مرحله رشد زایشی (گلدهی و تولید خورجین) به شدت عملکرد دانه کلزا را با افت مواجه می‌سازد چرا که در اثر کمبود آب، تعداد دانه و وزن دانه دچار کاهش می‌شود (Khani, Sadeghi Bakhtvari, Pasban Eslam, & Sarabi, 2018). کمبود آب در مرحله گلدهی، درصد و عملکرد روغن کلزا را نیز با کاهش مواجه می‌سازد (Elferjani & Soolanayakanahally, 2018). در برخی مناطق استان خوزستان، کلزا عمدتاً به‌عنوان یک گیاه مناسب جهت تنوع زراعی و ایجاد تنوع گیاهی کشت می‌شود. از طرف دیگر، شرایط تناوبی در استان خوزستان باعث می‌شود که این گیاه معمولاً خارج از تاریخ کاشت توصیه‌شده کشت شود (Rahnama & Jafar Nezhadi, 2009). این موضوع سبب می‌شود دوره رشد کلزا با رشد برخی گیاهان زراعی دیگر مصادف باشد. در این شرایط، برخی نوبت‌های آبیاری الزاماً به گیاهان دیگر (از جمله گندم (*Triticum aestivum*) که در مرحله گرده‌افشانی و بامیه (*Abelmoschus esculentus*) که در مرحله جوانه‌زنی است) اختصاص می‌یابد که باعث مواجه شدن کلزا با تنش کمبود آب، حتی در مرحله گلدهی، می‌شود. بر این اساس، اعمال روش‌های مدیریتی مناسب برای کاهش اثرات تنش خشکی بر کلزا در مرحله گلدهی ضروری است. از جمله این روش‌ها، استفاده از کود ورمی‌کمپوست و تغییر تاریخ کاشت می‌باشد.

ورمی‌کمپوست نوعی کود آلی است که از فعالیت برخی کرم‌های خاکی که توانایی زندگی در مواد آلی در حال فساد را دارند، تولید می‌شود (Gohari, Mohammadi, & Duathi Kazemnia, 2019). ورمی‌کمپوست دارای خلل و فرج زیاد، ظرفیت نگهداری آب بالا و عناصر غذایی ضروری برای رشد گیاهان است و به دلیل داشتن مواد هیومیکی، دارای اثرات شبه‌هورمونی بر گیاهان است (Hosseinzadeh, Amiri, & Ismaili, 2016). بر این اساس، ورمی‌کمپوست علاوه بر این‌که با تامین عناصر غذایی برای گیاهان به‌طور مستقیم بر رشد آن‌ها اثر می‌گذارد به دلیل تاثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، اثرات غیرمستقیم نیز بر رشد گیاهان دارد. در آفتابگردان (*Helianthus annuus*) گزارش شد که با کاربرد هشت تن در هکتار ورمی‌کمپوست، عملکرد دانه ۱۳ درصد افزایش پیدا کرد (Jalili & Salimzadeh, 2017). در کلزا نیز نتیجه گرفته شد که کاربرد دو تن در هکتار ورمی‌کمپوست، عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن را به‌ترتیب ۹، ۷ و ۱۳ درصد بهبود بخشید (Javanmard, Haghaninia, Shekari, Khoshkhan, & Ostadi, 2022). در یک پژوهش، اثر چهار سطح ورمی‌کمپوست شامل صفر، ۴، ۸ و ۱۲ تن در هکتار بر عملکرد دانه و روغن گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) بررسی و مشاهده شد که بیشترین عملکرد دانه (۳۱۸۴ کیلوگرم در هکتار) و روغن (۹۳۹ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد ۱۲ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌دست آمد.

همچنین، در پژوهش‌های مختلف، تاثیر مثبت ورمی‌کمپوست بر بهبود رشد گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی از جمله خشکی (Heidarpour, Esmaielpour, Soltani Toolarood, & Khorramdel, 2020)، شوری (Moghimi Banadkooki, Dehestani Ardakani, Shirmardi, & Momenpour, 2020) و گرما (Seimrizade, Moshatati, Bakhshandeh, Khodaei Joghan, & Koochekzadeh, 2021) گزارش شده است. بنابراین، امکان این‌که بتوان از کود ورمی‌کمپوست علاوه بر بهبودکننده رشد و عملکرد، به‌عنوان تعدیل کننده‌ی اثر تنش خشکی بر کلزا استفاده نمود، وجود دارد.

یکی از روش‌های مدیریتی برای به‌دست آوردن حداکثر عملکرد از گیاهان زراعی، انتخاب تاریخ کاشت مناسب است. انتخاب تاریخ کاشت مناسب باعث طولانی‌تر شدن طول دوره‌ی رشد، افزایش عملکرد بیولوژیک و در نتیجه بیشتر شدن پتانسیل تولیدی گیاه می‌شود (Nazeri, Shirani Rad, Valad Abadi, Mirakhori, & Hadidi Masoule, 2019). در یک تحقیق در اقلیم سرد، تاریخ کاشت بر ارتفاع بوته، سطح برگ، تعداد شاخه در بوته و عملکرد بیولوژیک ارقام علوفه‌ای کلزا تاثیر معنی‌داری داشت و بیشترین عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۲۰ شهریور به‌دست آمد و کشت‌های تاخیری با کاهش عملکرد دانه همراه بود (Khamadi, Gharineh, & Bakhshandeh, 2014). در یک مطالعه، اثر ۳ تاریخ کاشت شامل ۱۰ آبان، ۲۵ آبان و ۱۰ آذر در منطقه خوزستان بر عملکرد دانه کلزا مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه گرفته شد که بیشترین عملکرد دانه (۳۷۵۰ کیلوگرم در هکتار) در تاریخ کاشت ۱۰ آبان به‌دست آمد و با تاخیر در کاشت، ۱۷ درصد از عملکرد دانه کاسته شد (Kalantar Ahmadi, Ebadi, Siadat, & Tavakoli Hasanaklou, 2014). در یک پژوهش دیگر در منطقه اهواز، اثر ۷ تاریخ کاشت (۱۰ آبان الی ۳۰ آذر با فاصله ۱۰ روز) بر عملکرد دانه کلزا بررسی و گزارش شد که تاریخ کاشت ۱۰ آبان بیشترین عملکرد دانه (۳۰۵۹ کیلوگرم در هکتار) و تاریخ کاشت ۳۰ آذر کمترین عملکرد دانه (۱۰۲۱ کیلوگرم در هکتار) را داشتند (Rahnama, 2010). در تحقیقی دیگر، اثر ۴ تاریخ کاشت ۲۵ آبان، ۱۵ آذر، ۵ دی و ۲۵ دی بر عملکرد دانه کلزا در منطقه اهواز

بررسی و مشاهده شد که اولین تاریخ کاشت (۲۵ آبان) دارای بیشترین عملکرد دانه (۲۲۷۷ کیلوگرم در هکتار) و آخرین تاریخ کاشت (۲۵ دی) کمترین عملکرد دانه (۱۰۶۵ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص دادند (Poureisa & Nabipour, 2007).

در استان خوزستان، تاریخ کاشت مناسب کلزا، نیمه اول آبان ماه ذکر شده است (Kalantar Ahmadi *et al.*, 2014). با این حال، برنامه‌های تناوب زراعی در استان خوزستان به گونه‌ای است که تاخیر در کاشت کلزا محتمل است (Rahnama, 2010) چرا که به دلایل مختلف از جمله مرطوب بودن طولانی زمین بعد از برداشت برنج (*Oryza sativa*) و یا طولانی شدن طول دوره برداشت برخی گیاهان، نظیر گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*)، امکان تهیه بستر کاشت در زمان مناسب وجود ندارد. به همین دلیل و همچنین برای ارزیابی اثرات احتمالی کشت‌های تاخیری در تغییر مرحله گلدهی و در نتیجه عدم برخورد مرحله گلدهی با تنش کمبود آب، پژوهش حاضر با هدف پاسخ به این پرسش‌ها اجرا گردید: ۱. کود ورمی‌کمپوست، تاریخ کاشت و تنش در مرحله گلدهی چه تاثیری بر تولید دانه و روغن کلزا دارد؟ ۲. آیا کاربرد کود ورمی‌کمپوست و تغییر تاریخ کاشت می‌تواند اثرات تنش کمبود آب در مرحله گلدهی بر عملکرد کلزا را تعدیل نماید؟

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور شهرستان شادگان واقع در استان خوزستان (عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰ متر از سطح دریا) اجرا شد. اقلیم منطقه از نوع گرم و خشک بوده که متوسط دما و بارندگی سالیانه آن به‌ترتیب ۲۸/۸ درجه سانتی‌گراد و ۱۲۰ میلی‌متر می‌باشد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش در جدول ۱ درج شده است. در جدول ۲ نیز برخی خصوصیات اقلیمی منطقه محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد گیاه آورده شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Some physical and chemical properties of the experimental site

عمق Depth (cm)	بافت Texture	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	pH	پتاسیم K (mg kg^{-1})	فسفر P_2O_5 (mg kg^{-1})	نیتروژن N (%)	کربن آلی Organic C (%)
0-60	Silt-loam	1.88	7.3	224	14.0	0.08	0.51

جدول ۲- برخی خصوصیات اقلیمی محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۱٤۰۲-۱٤۰۱

Table 2- Some climatic properties of the experimental site during 2022-23 growing season

ماه Month	حداقل دمای ماهانه Monthly minimum temperature (˚C)	حداکثر دمای ماهانه Monthly maximum temperature (˚C)	رطوبت نسبی Relative humidity (%)	میزان بارندگی Precipitation (mm)
مهرماه October	27	38	48	-
آبان November	23	31	23	6.2
آذر December	18	26.2	65	9
دی January	8.6	16.8	68.4	16.5
بهمن February	9.8	19.1	78.2	41
اسفند March	15.4	24.5	61.3	4
فرودین April	17.9	28.2	64.7	-
اردیبهشت April	22	37	53	-

آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات (تاریخ کاشت در کرت اصلی و آبیاری و ورمی‌کمپوست به‌صورت فاکتوریل در کرت فرعی) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل تاریخ کاشت (۲۵ آبان و ۲۵ آذر)، آبیاری (آبیاری کامل

و قطع آبیاری در مرحله گلدهی) و کود ورمی‌کمپوست (صفر، ۱۰ تن در هکتار، ۲۰ تن در هکتار) بود. برای تهیه‌ی کرت‌ها، ابتدا زمین با استفاده از گاوآهن بشقابی شخم زده شد. در مرحله‌ی بعد، کود پایه اوره به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار اضافه و با استفاده از دیسک با خاک مخلوط شد. در مرحله بعد، در ادامه، اقدام به مشخص کردن حدود کرت‌ها شد و سپس مقادیر کود ورمی‌کمپوست بر اساس تیمارهای آزمایشی به زمین اضافه گردید و به‌صورت دستی با خاک مخلوط شد. غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در کود ورمی‌کمپوست استفاده‌شده به‌ترتیب ۱/۲، ۰/۴۹ و ۰/۳۱ درصد بود. بر این اساس، مقدار نیتروژن اضافه‌شده به خاک با کاربرد ورمی‌کمپوست در تیمار ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار به‌ترتیب ۱۴۰ و ۲۸۰ کیلوگرم در هکتار بود. مقدار فسفر و پتاسیم اضافه‌شده نیز در تیمار ۱۰ تن در هکتار کاربرد ورمی‌کمپوست به‌ترتیب ۴۹ و ۳۱ کیلوگرم در هکتار و در تیمار ۲۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌ترتیب ۹۸ و ۶۲ کیلوگرم در هکتار بود. سپس، با استفاده از فاروئر، جوی و پشته‌ها تهیه شدند. هر کرت شامل شش خط کاشت به طول چهار متر بود. بذور کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها چهار سانتی‌متر با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع (Kalantar Ahmadi *et al.*, 2014) به‌صورت ردیفی کشت شدند. همچنین فاصله بین کرت‌ها یک و نیم متر و فاصله بین بلوک‌ها دو متر بود. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و به‌صورت نشتی (نشت آب از جوی به سمت پشته) انجام شد. برای جلوگیری از خروج آب پس از آبیاری، انتهای کرت‌ها بسته شد. کاشت بذرها (بر اساس تاریخ مرتبط با تیمار) با تراکم بالا انجام گرفت تا از سبز شدن گیاهچه‌ها اطمینان حاصل شود. بعد از استقرار گیاهچه‌ها در مزرعه (مرحله‌ی چهار برگی)، کرت‌ها تا تراکم مطلوب (۸۰ بوته در هکتار) تنک شدند. در طول دوره‌ی رشد، علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی کنترل شدند. در هر مرحله آبیاری، حجم آب آبیاری با استفاده از کنتور اندازه‌گیری و برای محاسبه‌ی کارایی مصرف آب، عملکرد (دانه و روغن) بر میزان تبخیر و تعرق تقسیم گردید. میزان تبخیر و تعرق از رابطه‌ی (۱) محاسبه شد (Wei *et al.*, 2016):

$$ET = P + I - R - D - \Delta S \quad (۱)$$

که در آن ET، میزان تبخیر و تعرق بر حسب میلی‌متر، P بارندگی موثر در طول دوره رشد (بارندگی‌ای که مجموع روزانه آن بیشتر از پنج میلی‌متر بود) بر حسب میلی‌متر، I حجم آب آبیاری بر حسب میلی‌متر، R مقدار رواناب بر حسب میلی‌متر (با توجه به بسته بودن انتهای کرت‌ها، مقدار رواناب، صفر بود)، D تلفات آب از طریق نفوذ عمقی بر حسب میلی‌متر (با توجه به این‌که سطح آب‌های زیرزمینی کمتر از ۳۰ متر بود (حدود ۱۶ متر که بر اساس عمق چاه‌های نیمه‌عمیق منطقه برآورد شد) این شاخص صفر درنظر گرفته شد) و ΔS تفاوت رطوبت خاک در ابتدا و انتهای آزمایش (بر حسب میلی‌متر) بود. ورود به مرحله گلدهی برای یک کرت، زمانی در نظر گرفته شد که حداقل ۶۰ درصد بوته‌های هر کرت وارد مرحله گلدهی شدند. در این مرحله، یک نوبت آبیاری قطع گردید. در مراحل بعدی رشد گیاه شامل دوره پر شدن دانه و رسیدگی، آبیاری به شکل معمول انجام گرفت. تاریخ گلدهی و قطع آبیاری در دو تاریخ کاشت در جدول ۳ درج شده است.

جدول ۳- تاریخ گلدهی و زمان اعمال تیمار قطع آبیاری در دو تاریخ کاشت

Table 3- Flowering date and the time of irrigation interruption of two planting dates

تاریخ کاشت Planting date	تاریخ شروع گلدهی Floral initiation date	تاریخ اعمال قطع آبیاری (گلدهی کامل کرت) The time of irrigation interruption (Flowering completion of plot)	تاریخ برداشت Harvesting date	طول دوره رشد Growth period length (day)
۲۵ آبان November 16	۹ اسفند February 28	۱۵ اسفند March 6	۳۰ فروردین April 19	156
۲۵ آذر December 16	۲۰ اسفند March 11	۲۷ اسفند March 18	۱۱ اردیبهشت May 1	136

در مرحله‌ی رسیدگی، بوته‌های هر کرت بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای برداشت شدند و عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن شامل تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد روغن دانه و درصد پروتئین دانه محاسبه شدند. برای اندازه‌گیری عملکرد روغن، ابتدا درصد روغن دانه از ۱۰۰ گرم دانه و با استفاده از روش استخراج از حلال و دستگاه سوکسله دستی (مدل SKU 3307) اندازه‌گیری شد (Joshi, Mali, & Sexena, 1998) و سپس، از شاخص‌های درصد روغن و عملکرد دانه استفاده گردید. درصد پروتئین دانه نیز با استفاده از دستگاه کجلدال تعیین شد. بدین صورت که ابتدا میزان نیتروژن دانه تعیین گردید و برای محاسبه درصد پروتئین، درصد نیتروژن در عدد ۶/۲۵ ضرب گردید.

جدول ٤ – تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر آبیاری، تاریخ کاشت و ورمی‌کمپوست بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه، کارآیی مصرف آب و کیفیت دانه کلزا

Table 4- Analysis of variance (mean square) of the effect of irrigation, planting date, and vermicompost on grain yield and yield component, water use efficiency, and grain quality of rapeseed

		میانگین مربعات Mean square											
S.O.V	df	SP	GP	1000 GW	GY	BY	HI	GPC	GOC	OY	WC	WUE (G)	WUE (O)
تکرار Replication	2	4ns859*	450**	0.743*	2017653**	40556259**	13.3^{ns}	8.05^{ns}	24.7**	435298**	79628^{ns}	0.119**	0.028*
آبیاری Irrigation (I)	1	18090**	729**	9.61**	6551040**	29160000**	247**	20.6*	84.51**	1489620**	1496952**	0.327**	0.072**
تاریخ کاشت Planting date (P)	2	80.6	2.33	0.023	5043	1868	6.2	0.897	0.105	1075	564564	0.001	0.0001
خطا Error	1	14042**	144**	6.67**	2923390**	12960000**	129**	18.3**	78.15**	741606**	46033965*	0.131**	0.014**
I × P	1	42.3	1.0^{ns}	0.01^{ns}	159600*	40000ns	3.13^{ns}	7.45**	9.445**	80940**	1947220**	0.024*	0.002^{ns}
ورمی‌کمپوست Vermicompoust	2	9151**	258**	1.61**	812671**	211875n^{s}	50.4*	10.9**	7.96**	174675**	194364^{ns}	0.053**	0.010**
I × V	2	67ns	0.750^{ns}	0.002^{ns}	21922^{ns}	1875^{ns}	0.649^{ns}	5.87**	0.010^{ns}	7527^{ns}	33530^{ns}	0.002^{ns}	0.0001^{ns}
P × V	2	36ns	0.750^{ns}	0.018^{ns}	2042^{ns}	16875^{ns}	1.84^{ns}	7.0**	0.295^{ns}	784^{ns}	70702^{ns}	0.004^{ns}	0.001^{ns}
I × P × V	2	508**	0.250^{ns}	0.003^{ns}	19042^{ns}	26875^{ns}	6.41^{ns}	9.060**.	0.029^{ns}	3412	255961^{ns}	0.005^{ns}	0.001^{ns}
خطا Error	20	36	3.63	0.018	24993	788146	9.31	0.493	0.268	5438	151466	0.002	0.0001
ضریب تغییرات C.V (%)		3.53	8.93	3.91	8.36	12.9	11.3	2.79	1.29	9.55	9.34	9.57	11.06

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، معنی‌دار در سطح پنج درصد و غیرمعنی‌دار

SP: تعداد خورجین در دانه؛ GP: تعداد دانه در خورجین؛ 1000GW: وزن هزار دانه؛ GY: عملکرد دانه؛ BY: عملکرد بیولوژیک؛ HI: شاخص برداشت؛ GPC: محتوای پروتئین دانه؛ GOC: محتوای روغن دانه؛ OY: عملکرد روغن؛ WC: مصرف آب. WUE (G): کارآیی مصرف آب برای تولید دانه؛ WUE (O): کارآیی مصرف دانه بر ای تولید روغن

**, * and ns indicate significant at P≤0.01, significant at P≤0.05 and non-significant, respectively.

SP: Silique number per plant; GP: Grain number per silique; 1000 GW: 1000-grain weight; BY: Biological yield; HI: Harvest index; GPC: Grain protein content; GOC: Grain oil content; OY: Oil yield; WC: Water consumption; WUE (G): Water use efficiency for grain production; WUE (O): Water use efficiency for oil production.

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C آنالیز شدند. برای مقایسه‌ی میانگین‌ها، از آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد استفاده گردید. شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

اثر اصلی تاریخ کاشت و آبیاری بر کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار ($P\leq0.01$) بود. به‌جز در مورد صفات عملکرد بیولوژیک و میزان مصرف آب، اثر اصلی ورمی‌کمپوست بر سایر صفات معنی‌دار

شد. برهمکنش تاریخ کاشت× آبیاری صفات عملکرد دانه، درصد پروتئین دانه، درصد روغن دانه، عملکرد روغن، کارایی مصرف آب برای تولید دانه و میزان مصرف آب معنی‌دار بود ولی بر سایر صفات، اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۴). برهمکنش تاریخ کاشت× ورمی‌کمپوست و آبیاری× ورمی‌کمپوست بر درصد پروتئین دانه معنی‌دار بود ولی بر سایر صفات اثر معنی‌داری نداشتند. برهمکنش آبیاری× تاریخ کاشت× ورمی‌کمپوست تنها بر دو صفت تعداد خورجین در بوته و درصد پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۴).

بیشترین تعداد خورجین در بوته (۲۴۰ خورجین) در تاریخ کاشت ۲۵ آبان، با آبیاری کامل کلزا و مصرف ۲۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌دست آمد که با همین تاریخ کاشت و تیمار آبیاری و مصرف ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). در تاریخ کاشت ۲۵ آذر و قطع آبیاری در مرحله‌ی گلدهی و عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست، کلزا کمترین تعداد خورجین در بوته (۹۰ خورجین) را تولید کرد (جدول ۵) که برابر با کاهش ۶۲ درصدی این صفت بود. این در حالی است که بیشترین محتوای پروتئین دانه کلزا (۲۸/۶ درصد) در تیمار اخیر (تاریخ کاشت ۲۵ آذر و عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست و قطع آبیاری در مرحله‌ی گلدهی) تولید شد (جدول ۵). با کشت کلزا در ۲۵ آبان و مصرف ۲۰ تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست و آبیاری کامل، کمترین محتوای پروتئین دانه (۲۲/۷ درصد) ثبت شد (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری× تاریخ کاشت× ورمی‌کمپوست بر تعداد خورجین در بوته و محتوای پروتئین (درصد) دانه کلزا

Table 5- Mean comparison of the interaction of Irrigation× planting date× vermicompost on silique number per plant and seed protein content (%) of rapeseed

تاریخ کاشت Planting date	آبیاری Irrigation	ورمی‌کمپوست Vermicompost (ton. ha^{-1})	خورجین در بوته Silique per plant	محتوای پروتئین دانه Seed protein content (%)
۲۵ آبان November 16	IR1	0	180bc	23.9cd
		10	220a	23.2d
		20	240a	22.67d
	IR2	0	149de	26.8ab
		10	177bc	25.9bc
		20	189b	24.1cd
۲۵ آذر December 16	IR1	0	142e	25.8bc
		10	172bc	26.1bc
		20	185bc	25.2bcd
	IR2	0	90f	28.6a
		10	132e	26.1bc
		20	165cd	27.1ab

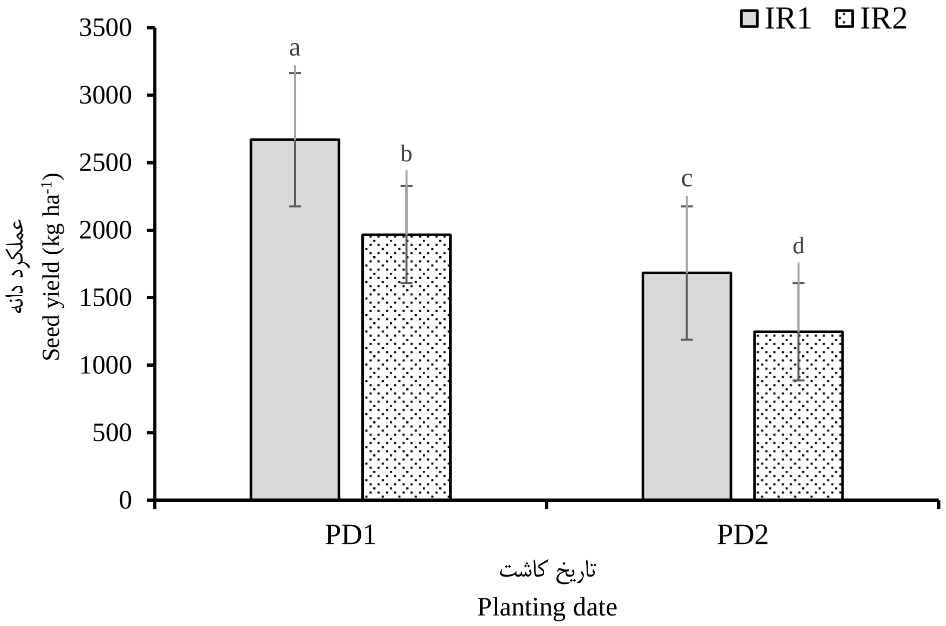
حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد.

IR1: آبیاری کامل؛ IR2: قطع آبیاری در مرحله گلدهی

Different letters in each column indicate significant difference at P≤0.01 according to Tukey’s test

IR1: Full irrigation; IR2: Irrigation interrupt at flowering stage

کلزا در تاریخ کاشت ۲۵ آبان همراه با آبیاری کامل بیشترین عملکرد دانه (۲۶۷۰ کیلوگرم در هکتار) را داشت (شکل ۱) در حالی که تاخیر یک ماهه در کاشت (تاریخ کاشت ۲۵ آذر) و قطع آبیاری در مرحله گلدهی باعث شد که کمترین عملکرد دانه (۱۲۴۷ کیلوگرم در هکتار) تولید شود که به معنی کاهش بیش از ۵۰ درصدی در عملکرد دانه می‌باشد. روند مشابهی در درصد روغن دانه و عملکرد روغن مشاهده شد به طوری که بیشترین و کمترین درصد و عملکرد روغن دانه کلزا به‌ترتیب در تاریخ کاشت ۲۵ آبان همراه با آبیاری کامل و تاریخ کاشت ۲۵ آذر و قطع آبیاری در مرحله گلدهی به‌دست آمد (شکل ۲ و ۳). تاخیر در کاشت و تنش خشکی در مرحله گلدهی، درصد روغن دانه کلزا را ۶ درصد و عملکرد روغن را حدود ۶۰ درصد کاهش داد.



شکل ۱- تاثیر برهمکنش تاریخ کاشت و آبیاری بر عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) کلزا

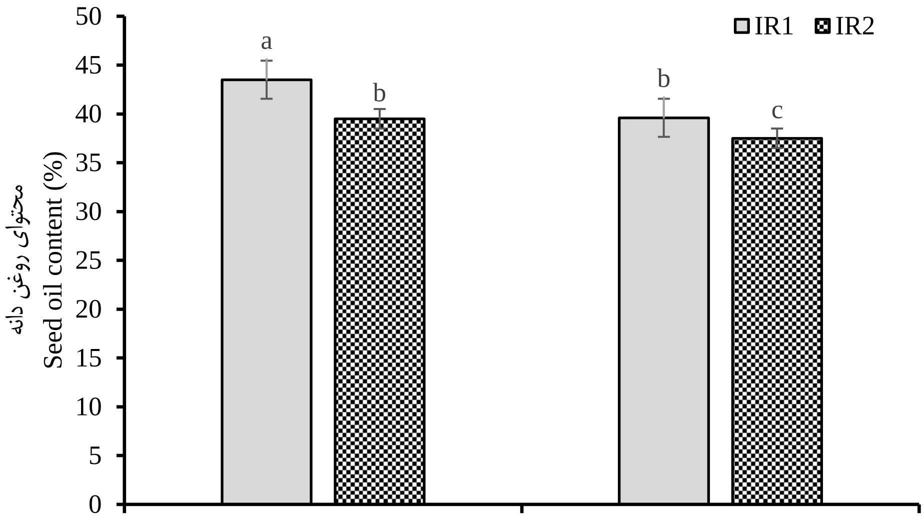
PD1: تاریخ کاشت ۲۵ آبان؛ PD2: تاریخ کاشت ۲۵ آذر؛ IR1: آبیاری کامل؛ IR2: قطع آبیاری در مرحله گلدهی

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد

Figure 1- The effect of planting date × irrigation interaction on seed yield (kg ha^{-1}) of rapeseed

PD1: Planting date of November 16; PD2: Planting date of December 16. IR1: Full irrigation; IR2: Irrigation interrupt at flowering

Different letters in each column indicate significant difference at P≤0.05 according to Tukey's test



شکل ۲- تاثیر برهمکنش تاریخ کاشت و آبیاری بر محتوای روغن دانه (درصد) کلزا

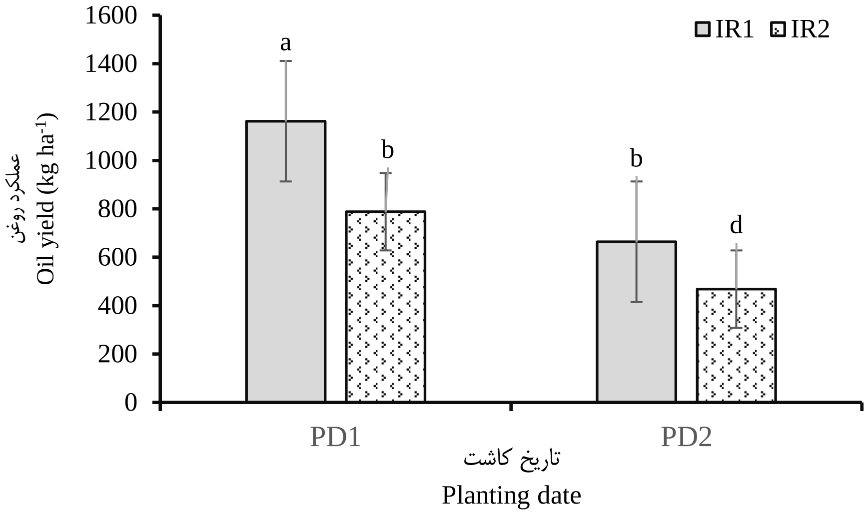
PD1: تاریخ کاشت ۲۵ آبان؛ PD2: تاریخ کاشت ۲۵ آذر؛ IR1: آبیاری کامل؛ IR2: قطع آبیاری در مرحله گلدهی

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد.

Figure 2- The effect of planting date × irrigation interaction on seed oil content (%) of rapeseed

PD1: Planting date of November 16; PD2: Planting date of December 16. . IR1: Full irrigation; IR2: Irrigation interrupt at flowering

Different letters in each column indicate significant difference at P≤0.01 according to Tukey's test



شکل ۳- تاثیر برهمکنش تاریخ کاشت و آبیاری بر عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) کلزا

PD1: تاریخ کاشت ۲۵ آبان؛ PD2: تاریخ کاشت ۲۵ آذر؛ IR1: آبیاری کامل؛ IR2: قطع آبیاری در مرحله گلدهی

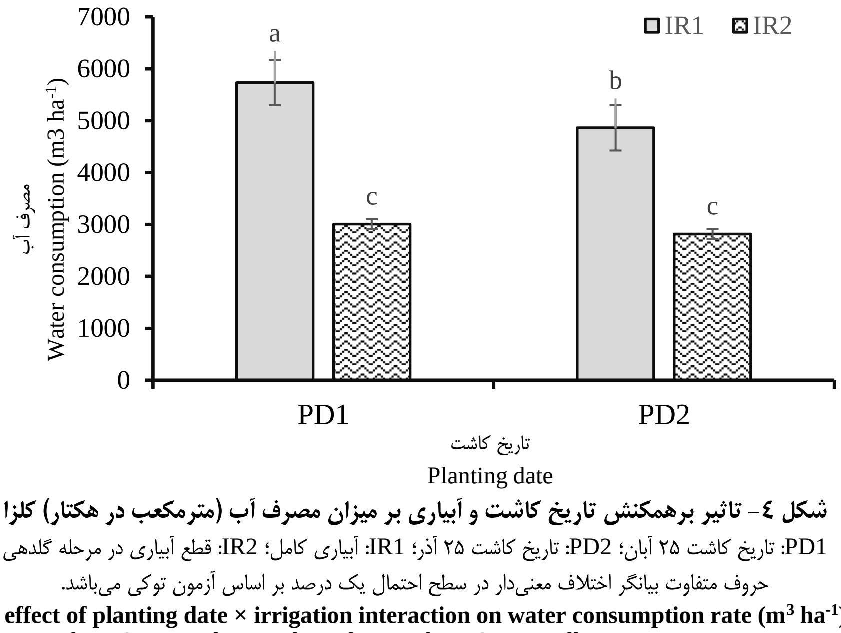
حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد.

Figure 3- The effect of planting date × irrigation interaction on oil yield (kg ha^{-1}) of rapeseed

PD1: Planting date of November 16; PD2: Planting date of December 16. IR1: Full irrigation; IR2: Irrigation interrupt at flowering

Different letters in each column indicate significant difference at P≤0.01 according to Tukey's test

در تاریخ کاشت ۲۵ آبان و ۲۵ آذر، قطع آبیاری در مرحله گلدهی مصرف آب را به‌طور معنی‌داری (P≤0.01) کاهش (به‌ترتیب حدود ۴۸ درصد و ۳۶ درصد) داد. در هر حال، بیشترین مصرف آب در تاریخ کاشت ۲۵ آبان و آبیاری کامل مشاهده شد (شکل ۴). بیشترین کارایی مصرف آب برای تولید دانه (کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب) در تاریخ کاشت ۲۵ آبان و قطع آبیاری در مرحله گلدهی به‌دست آمد. کشت کلزا در ۲۵ آذر با آبیاری کامل، کمترین مقدار کارایی مصرف آب (۰/۳۴۳ کیلوگرم دانه بر مترمکعب) را داشت که با کشت در ۲۵ آذر و قطع آبیاری در مرحله گلدهی تفاوت معنی‌داری نداشت. تفاوت بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب، حدود ۴۸ درصد بود (شکل ۵).



شکل ٤- تاثیر برهمکنش تاریخ کاشت و آبیاری بر میزان مصرف آب (مترمکعب در هکتار) کلزا

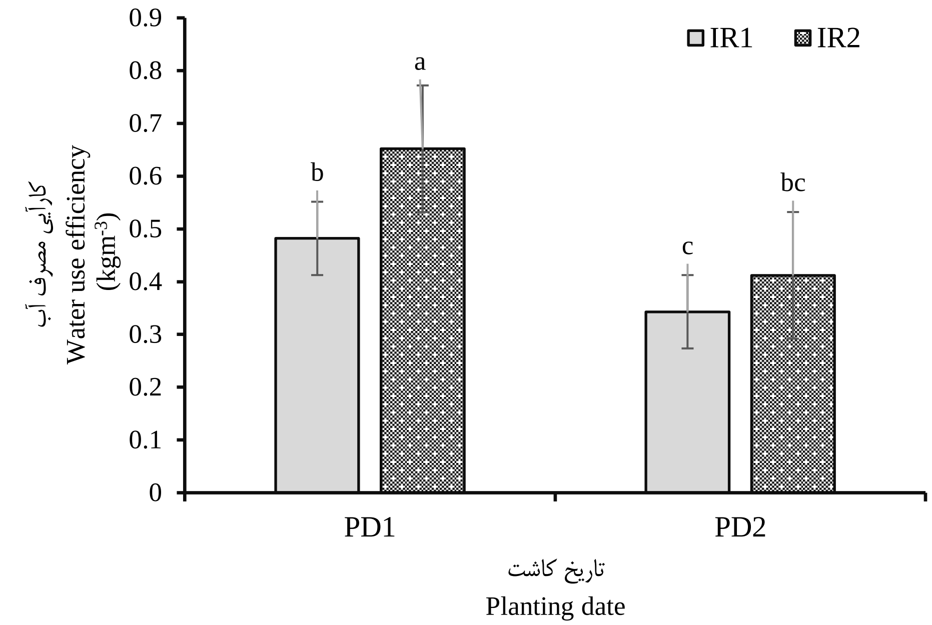
PD1: تاریخ کاشت ۲۵ آبان؛ PD2: تاریخ کاشت ۲۵ آذر؛ IR1: آبیاری کامل؛ IR2: قطع آبیاری در مرحله گلدهی

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد.

Figure 4- The effect of planting date × irrigation interaction on water consumption rate (m^{3} ha^{-1}) of rapeseed

PD1: Planting date of November 16; PD2: Planting date of December 16 IR1: Full irrigation; IR2: Irrigation interrupt at flowering

Different letters in each column indicate significant difference at P≤0.01 according to Tukey's test



شکل ۵- تاثیر برهمکنش تاریخ کاشت و آبیاری بر کارایی مصرف آب برای تولید دانه (کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب) کلزا

PD1: تاریخ کاشت ۲۵ آبان؛ PD2: تاریخ کاشت ۲۵ آذر؛ IR1: آبیاری کامل؛ IR2: قطع آبیاری در مرحله گلدهی

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد.

Figure 5- The effect of planting date × irrigation interaction on water use efficiency for seed production (kg m^{-3}) of rapeseed

PD1: Planting date of November 16; PD2: Planting date of December 16. IR1: Full irrigation; IR2: Irrigation interrupt at flowering

Different letters in each column indicate significant difference at P≤0.05 according to Tukey's test

ورمی‌کمپوست بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه شامل تعداد دانـه در خورجین و وزن هزار دانه (گرم) تاثیر معنی‌داری (P≤0.01) داشـت به طوری که بیشترین مقدار این صفات با مصـرف ۲۰ تـن در هکتـار ورمی‌کمپوست و کمترین مقدار آن‌ها با عدم مصرف ورمـی‌کمپوسـت به‌دست آمد (جدول ۶). درصد و عملکرد روغن دانه کلزا نیز با مصرف ۲۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست بـه‌ترتیب ۱/۷ و ۳۷ درصـد افـزایش یافت (جدول ۶). کاربرد ورمی‌کمپوست بر کارایی مصرف آب نیز تاثیر مثبت داشت به طوری که با مصرف ورمی‌کمپوست، کـارایی مصـرف آب برای تولید دانه به‌ترتیب ۳۲ درصـد و کـارایی مصـرف آب بـرای تولید روغن ۵۶ درصد بهبود یافت (جدول ۶).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر ورمی‌کمپوست بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه، تولید روغن و کارایی مصرف آب کلزا

Table 6- Mean comparison of the effect of vermicompost on seed yield and yield component, oil production and water use efficiency of rapeseed

ورمی‌کمپوست Vermicompost (ton ha^{-1})	**تعداد دانه در خورجین Seed number per silique**	**وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)**	**عملکرد دانه Seed yield (kg ha^{-1})**	**شاخص برداشت Harvest index (%)**	**محتوای روغن دانه Seed oil content (%)**	**عملکرد روغن Oil yield (kg ha^{-1})**	**کارایی مصرف آب (دانه) WUE (seed) (kg m^{-3})**	**کارایی مصرف آب (روغن) WUE (oil) (kg m^{-3})**
0.0	16.5c	3.08c	1625c	24.8b	39.1b	649c	0.403b	0.137c
10	21.75b	3.53b	1900b	27.1ab	40.1a	773b	0.483a	0.203b
20	25.75a	3.81a	2148a	28.92a	40.8a	891a	0.530a	0.215a

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد.

Different letters in each column indicate significant difference at P≤0.01 according to Tukey's test

قطع آبیـاری در مرحلـه گلـدهی تعـداد دانـه در خـورجین و وزن هزاردانه را به‌ترتیب ۱۷ و ۲۳ درصد کاهش داد. عملکرد بیولوژیـک و شاخص برداشت نیز با قطـع آبیـاری کلـزا بـه‌ترتیب ۱۶ و ۱۳ درصـد کاهش یافتند (جدول ۷). با این حال، کارایی مصـرف آب کلـزا بـرای تولید روغن با قطع آبیاری در مرحله گلدهی ۲۹ درصد افـزایش یافـت (جدول ۷). کلزا در تاریخ کاشت ۲۵ آبان از نظر صفات تعـداد دانـه در

خورجین، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب به‌ترتیب ۳۵، ۲۵، ۲۳، ۱۸ و ۳۸ درصد نسبت به تاریخ کاشت ۲۵ آذر برتری داشت (جدول ۸).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر برخی اجزای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب (برای تولید روغن) کلزا

Table 7- Mean comparison of the effect of irrigation on some seed yield component, biological yield, harvest index and water use efficiency (for oil production) of rapeseed

آبیاری Irrigation	تعداد دانه در خورجین Seed number per silique	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)	کارایی مصرف آب (روغن) WUE (oil) (kg m^{-3})
IR1	23a	3.9a	7483a	28.84a	0.17b
IR2	19b	3.0b	6283b	25.05b	0.22a

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون توکی می‌باشد.

IR1: آبیاری کامل؛ IR2: قطع آبیاری در مرحله گلدهی

Different letters in each column indicate significant difference according to Tukey’s test

I1: Full irrigation; I2: Irrigation interrupt at flowering

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت بر برخی اجزای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب (برای تولید روغن) کلزا

Table 8- Mean comparison of the effect of planting date on some seed yield component, biological yield, harvest index and water use efficiency (for oil production) of rapeseed

تاریخ کاشت Planting date	تعداد دانه در خورجین Seed number per silique	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)	کارایی مصرف آب (روغن) WUE (oil) (kg m^{-3})
۲۵ آبان November 16	26a	4.0a	7783a	29.6a	0.24a
۲۵ آذر December 16	17b	3.0b	5983b	24.3b	0.15b

حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون توکی می‌باشد.

I1: آبیاری کامل؛ I2: قطع آبیاری در مرحله گلدهی

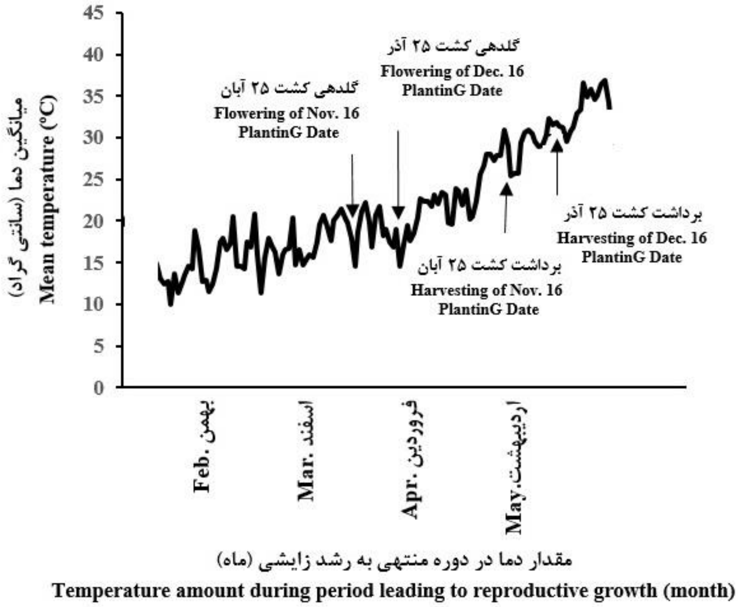
Different letters in each column indicate significant difference according to Tukey’s test

I1: Full irrigation; I2: Irrigation interrupt at flowering

نتایج تحقیق حاضر افت عملکرد دانه کلزا در شرایط کمبود آب در مرحله گلدهی و کاشت تاخیری را نشان داد (شکل ۱). همچنین نتایج نشان داد که عملکرد دانه کلزا تحت تاثیر هر جزء عملکرد دانه یعنی تعداد دانه (تعداد دانه در خورجین و تعداد خورجین در بوته) و وزن دانه است چرا که قطع آبیاری و تاخیر در کشت باعث کاهش هر دو جزء عملکرد دانه شد (جدول‌های ۵، ۷ و ۸). با این حال، بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، تعداد دانه نسبت به وزن دانه حساسیت بیشتری نسبت به تغییر شرایط رشد داشت چرا که تعداد دانه در بوته کلزا در شرایط تنش خشکی ۶۵ درصد و با تاخیر در کاشت ۵۱ درصد کاهش یافت در حالی‌که واکنش وزن دانه در برابر قطع آبیاری در مرحله گلدهی و کاشت در ۲۵ آذر (تاخیر در کاشت)، حدود ۲۵ درصد کاهش بود. در این مورد نتایج مشابهی در سویا (Abdipour, Rezaei, Hooshmand, & Raeisi, 2009) گزارش شد. در ارقام نیتون و اوکاپی کلزا نیز مشاهده شد که تاخیر در کاشت و تنش خشکی در مرحله گلدهی با کاهش تعداد گل‌هایی که به خورجین تبدیل می‌شود عملکرد دانه را با افت مواجه می‌کند (Moradbaigi *et al.*, 2018) که با یافته‌های تحقیق حاضر هماهنگی دارد. در این مورد گزارش شده است که تاخیر در کاشت، باعث تولید بوته‌های ضعیف در زمان گلدهی می‌شود که به دنبال آن تعداد خورجین‌ها کاهش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر، تاخیر در کاشت از طریق کاهش تعداد خورجین در بوته باعث کاهش عملکرد دانه در کلزا می‌شود (Nazeri *et al.*, 2019).

به‌علاوه، در تاریخ کاشت دوم (۲۵ آذر)، کلزا در طول مرحله زایشی مدت بیشتری را در دماهای بالا قرار داشت (شکل ۶) که این موضوع تاثیر منفی بر پر شدن دانه دارد که در نهایت به کاهش وزن دانه و عملکرد دانه منجر شد (جدول ۸). در این مورد گزارش شده است که مهمترین عامل موثر بر نمو کلزا در مرحله گلدهی تا رسیدگی، میزان دماست (Faraji, 2015) که با نتایج پژوهش حاضر

مبنی بر افت عملکرد دانه ناشی از تاخیر در کاشت هماهنگی دارد. کاهش عملکرد دانه، شاخص برداشت را نیز تحت تاثیر قرار داد. در پژوهش حاضر، شاخص برداشت کلزا تحت تاثیر تنش کمبود آب در مرحله گلدهی ۱۳ درصد و با تاخیر در کاشت ۱۸ درصد دچار کاهش شد. شاخص برداشت، صفتی است که تحت تاثیر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک قرار دارد. به نظر می‌رسد در این تحقیق، شاخص برداشت کلزا بیشتر تحت تاثیر عملکرد دانه قرار داشت. هر چند تحت تاثیر کمبود آب در مرحله گلدهی و کاشت تاخیری، عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب ۱۶ و ۲۳ درصد کاهش یافت ولی کاهش عملکرد دانه در این تیمارها به‌ترتیب ۳۶ و ۲۶ درصد بود که نشان می‌دهد عملکرد دانه تاثیر بیشتری بر شاخص برداشت کلزا دارد. نتایج مشابهی توسط محققان دیگر (Nasiri, Roozbahani, & Ziaei nasab, 2017; Salak Meraji & Tavakoli, 2020) در گیاه دانه روغنی گلرنگ گزارش شده است.



شکل ٦- میانگین دما در زمان وقوع گلدهی (اعمال تنش قطع آبیاری) و زمان برداشت کلزا در دو تاریخ کاشت

Figure 6- The average temperature at the time of flowering (applying irrigation interruption) and the time of rapeseed harvesting on two planting dates

مطالعات نشان داده است که مصرف ورمی‌کمپوست به دلیل فراهمی عناصر غذایی مهم از جمله نیتروژن، فسفر، آهن، منیزیم و پتاسیم، باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (Jahangiri Nia, Siadat, Koochakzadeh, Moradi Telavar, & Sayyah, 2015; Shahrusvand, Eisvand, Nazarian Firozabadi, & Feizian, 2019; Sabouri, Gholamhoseini, Bazrafshan, Habibzadeh, & Amiri, 2022). نتایج مشابهی در پژوهش حاضر مشاهده شد به طوری که با کاربرد ۱۰ در هکتار ورمی‌کمپوست عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌ترتیب به میزان ۱۴۰، ۴۹ و ۳۱ کیلوگرم در هکتار. با کاربرد ۲۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، عناصر غذایی فوق به‌ترتیب به میزان ۲۸۰، ۹۸ و ۶۲ کیلوگرم در هکتار به خاک اضافه شد. عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزا با مصرف ورمی‌کمپوست بهبود پیدا کرد. با این حال، گزارشاتی که در زمینه اثر ورمی‌کمپوست، به‌عنوان یک منبع غذایی مهم، بر درصد روغن گیاهان دانه روغنی وجود دارد، نتایج متفاوتی را نشان داده است که به‌طور عمده بر پایه میزان نیتروژن تامین شده برای گیاه استوار است، چرا که ورمی‌کمپوست حاوی عنصر نیتروژن است (غلظت نیتروژن در ورمی‌کمپوست ۱/۵–۲/۰ درصد گزارش شده است (Rajiv, Sunil, Dalsukhbhai, & Krunalkumar, 2009)) و با توجه به ارتباط نیتروژن با درصد پروتئین و روغن دانه، مصرف ورمی‌کمپوست بر محتوای روغن دانه اثرگذار است. برخی محققین (Nouriyani, 2015; Li, Shi, Zhu, Zheng, & Xu, 2017; Sabouri *et al.*, 2022) نتیجه گرفتند که مصرف ورمی‌کمپوست به دلیل داشتن نیتروژن باعث کاهش درصد روغن دانه می‌شود چرا که نیتروژن باعث افزایش تشکیل پیش‌زمینه‌های پروتئینی شده و درنتیجه مواد لازم برای تشکیل روغن را کاهش می‌دهد. در حالی که تعداد دیگری از پژوهشگران (Ali, Hossain, Rahman, & Islam, 2012; Samadzadeh Ghale Joughi, Eslam Majidi Hervan, Shirani Rad, & Noormohammadi, 2018; Hazrati, Sadeghi-Bakhtvari, Kiani, & Zeinali, 2020) گزارش دادند

درصد روغن دانه با مصرف ورمی‌کمپوست افزایش پیدا می‌کند. اعتقاد محققین اخیر بر این است که با فراهم شدن نیتروژن و افزایش تـوان فتوسنتزی گیاه، مقادیر بیشتری کربوهیدرات تولید می‌شـود و از آنجـا که روغن نیز از اسیدهای چـرب بـا سـاختار هیـدروکربنی (Talebi, 2022) تشکیل شده است، امکان تولید اسـیدهای چـرب و در نتیجـه روغن بیشتر فراهم می‌شود که در طول دوره‌ی بعد از گلدهی، در دانه تجمع پیدا می‌کنـد. در پـژوهش حاضـر، کـاربرد ورمـی‌کمپوست بـه افزایش درصد و عملکرد روغن کلزا منجـر شـد (جـدول ۶). بـه نظـر می‌رسد این نتایج تحت تاثیر میزان فراهمی نیتـروژن بـرای گیـاه در ارتباط با میزان نیاز گیاه باشد. به عبـارت دیگـر، در پـژوهش حاضـر، نیتروژنی که از طرق مختلف شامل کود پایه (۷۵ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت) و مصرف ورمی‌کمپوست (۱۴۰ و ۲۸۰ کیلوگرم در هکتار با کاربرد به‌ترتیب ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار ورمـی‌کمپوسـت) در اختیـار گیاه قرار گرفته است احتمالاً تنها بـرای تـامین احتیاجـات پایـه گیـاه مصرف شده است. بدین معنی که کود نیتروژنه مصرف‌شـده بـه‌عنوان پایه، صرف توسعه شاخ و برگ گیاه در مرحله رشد رویشی شده اسـت و در مراحل بعد از گلدهی (شامل دوره پر شدن دانه و تشکیل روغـن) در اختیار گیاه نبوده است. بر اساس گزارشـات، کلـزا از زمـان خـروج گیاهچه تا تکمیل گلـدهی حـدود ۲۵۰ کیلـوگرم در هکتـار نیتـروژن مصرف می‌کند (Noorgholizadeh *et al.*, 2014). در این تحقیـق، بر اساس میزان کود پایه و ورمی‌کمپوست، در مجموع تنها احتیاجـات پایه کلزا در اختیار آن قرار گرفت و میزان نیتروژن به گونـه‌ای نبـوده است که در طول دوره تشکیل دانه، مصرف نیتروژن به سمت افزایش تشکیل پروتئین برود. با این حال، بررسی دقیق اثرات ورمی‌کمپوسـت بر تشکیل روغن در کلزا به تحقیقات تکمیلی نیاز دارد که در طـی آن میزان جذب عناصر غذایی در طول دوره رشد رویشی و دوره پر شـدن دانه و همچنین روند پر شدن و تجمع روغن در دانه مورد ارزیابی قرار بگیرد. با این حال، یافته‌های سایر محققان مبنـی بـر افـزایش درصـد پروتئین و کاهش درصد روغن دانه در شرایط تنش شدید خشـکی (در سـویا) (Navabpour, Hezarjaribi, & Mazandarani, 2017) و تـاخیر در کاشـت (در کرچـک (*Ricinus communis*)) (Farhadi, Souri, & Omidbaigi, 2012) با نتایج پژوهش حاضر (جـدول ۴ و شکل ۲) مطابقت دارد. این در حالی است که علی‌رغم کاهش درصـد روغن در شـرایط تـنش خشـکی و کشـت تـاخیری، عملکـرد روغـن (کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل و تـاریخ کاشـت ۲۵ آبـان به‌ترتیب ۴۲ و ۳۱ درصد بیشتر از قطـع آبیـاری در مرحلـه گلـدهی و کشت در ۲۵ آذر بود چرا که عملکرد روغن عـلاوه بـر درصـد روغـن دانه، به عملکرد دانه نیز وابسته است و نتایج این پـژوهش نشـان داد که عملکرد روغن در کلزا بیش از آن‌که بـه درصـد روغـن وابسـتگی داشته باشد تحت تاثیر عملکرد دانه قرار می‌گیرد. نتایج مشابهی توسط محققـین دیگـر (Zali *et al.*, 2020) در ارقـام کـوپر و لیلیـان کلـزا گزارش شده است.

هرچه تولید دانه به ازای هر واحد آب مصرفی بالاتر باشد، کارایی مصـرف آب نیـز بـالاتر خواهـد بـود. در واقـع، کـارایی مصـرف آب، عملکرد[1] گیـاه در تولیـد محصـول و مصـرف آب را نشـان مـی‌دهـد (Hatfield & Dold, 2019). برخی محققین گـزارش دادنـد کـه بـا بیشتر شدن شدت تنش خشـکی، کـارایی مصـرف آب افـزایش پیـدا می‌کنـد (Golestani Far, Mahmoodi, Zamani, & Sayyari Zahan, 2017) که با نتایج پژوهش حاضـر همخـوانی دارد چـرا کـه تنش خشکی (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) در هر دو تاریخ کاشـت، کارایی مصرف آب برای تولید دانه را افزایش داد (هر چند برای تـاریخ کاشت ۲۵ آذر، غیرمعنی‌دار بود) (شکل ۵) و بالاترین کـارایی مصـرف آب در تیمارهای قطع آبیاری به‌دست آمد. همچنـین، ایـن یافتـه کـه کاهش مصرف آب می‌تواند با افزایش کـارایی مصـرف همـراه باشـد (Zhang, Lio, Chang, & Anyia, 2010) تا حدودی با یافته‌هـای تحقیق حاضر هماهنگ اسـت، چـرا کـه در ایـن پـژوهش، بیشـترین کارایی مصرف آب برای تولید دانه در تاریخ کاشت اول و قطع آبیاری به‌دست آمد. اگرچه در تاریخ کاشت اول (۲۵ آبـان) عملکـرد دانـه در آبیاری کامل بیشتر از قطع آبیاری بود ولی قطع آبیاری در ایـن تـاریخ کاشت، باعث کمتر شدن مصرف آب به میزان ۴۸ درصد شد در حالی که افت عملکرد دانه ناشی از قطع آبیاری حـدود ۲۶ درصـد بـود. بـه عبارت دیگر، در تاریخ کاشت ۲۵ آذر با قطـع آبیـاری، دانـه بیشـتری به‌ازای مصرف هر واحد آب تولید شد که به افـزایش کـارایی مصـرف آب انجامید. بر اساس یافته‌های برخی پژوهشگران، تـنش کمبـود آب تنها در شرایطی که با شـدت متوسـط باشـد باعـث افـزایش کـارایی مصرف دانه خواهد شد بـدین معنـی کـه اگـر کمبـود آب در مراحـل حساس رشد و یا به مدت طولانی بر گیاه تحمیل شود، باعث کـاهش کارایی مصرف دانه مـی‌گـردد (Zhao *et al.*, 2020; Anita Ierna, & Mauromicale, 2020). این یافته‌ها با نتایج پـژوهش حاضـر در مورد تاریخ کاشت دوم (۲۵ آذر) هماهنگی دارد چرا که در این مطالعه، در تاریخ کاشت ۲۵ آذر، تنش کمبود آب در مرحله گلـدهی کـه یـک مرحله حساس رشد است بر کلزا وارد شد که به افت زیاد عملکرد دانه (۲۶ درصد) شد ولی تغییـر معنـی‌داری در کـارایی مصـرف آب ایجـاد نکرد. در پژوهش حاضر، قطع آبیاری در مرحله گلدهی اگرچـه درصـد روغن دانه را کاهش داد ولی منجر بـه افـزایش کـارایی مصـرف آب برای تولید روغن شد (جدول ۵). در این مورد گزارش شده اسـت کـه تولید روغن در گیاهان روغنی صفتی است که توسط ژن‌هـای زیـادی کنترل می‌شـود و کمبـود آب بـه‌طور معمـول بـر همـه‌ی ژن‌هـا اثـر نمی‌گذارد. به همین دلیل، اثر کمبود آب بر کاهش درصد روغن ناچیز اسـت (Yadollahi, Asgharipour, Marvane, Kheiri, &

1- Performance

Amiri, 2017). این یافته، با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد به طوری که در این آزمایش مقدار کاهش درصد روغن دانه‌ی کلزا در نتیجه قطع آبیاری در مرحله گلدهی کم بود (حدود ۳ درصد) بر این اساس، به نظر می‌رسد در تحقیق حاضر اثر قطع آبیاری بر کاهش مصرف آب بیشتر از اثر آن بر درصد روغن بوده است (۱۱ درصد کاهش مصرف آب در برابر ۳ درصد کاهش درصد روغن) که منجر به افزایش کارایی مصرف آب برای تولید روغن در کلزا شد.

در این تحقیق، مصرف ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست باعث افزایش کارایی مصرف آب کلزا برای تولید دانه به‌ترتیب به میزان ۱۷ و ۳۲ درصد شد. کارایی مصرف آب کلزا برای تولید روغن نیز با مصرف ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌ترتیب ۱۹ و ۹۶ درصد بهبود یافت (جدول ۵). این بدان معنی است که مقادیر بالاتر ورمی‌کمپوست باعث شد که کلزا به‌ازای مصرف هر واحد آب، دانه و روغن بیشتری تولید کند. در این مورد، یک خصوصیت مهم که برای ورمی‌کمپوست گزارش شده است، ظرفیت بالای آن برای نگهداری آب است (Toulabi, Eisvand, & Goodarzi, 2021) که می‌تواند در کاهش مصرف آب برای آبیاری گیاهان زراعی موثر باشد، به طوری که گزارش شده است ورمی‌کمپوست می‌تواند نیاز آبی گیاهان را تا ۴۰ درصد کاهش دهد (Rashtbari & Alikhani. 2012). این ویژگی به همراه اثر ورمی‌کمپوست در تامین عناصر غذایی مهم (Mirzaei-Takhtgahi, Ghamarnia, & Farmanifard, 2018) و افزایش طول دوره رسیدگی (Sajadi Nik &Yadavi. 2013) باعث کاهش مصرف آب به‌ازای تولید هر واحد روغن و در نهایت افزایش کارایی مصرف آب برای تولید روغن و دانه می‌شود. در کنجد نیز گزارش شد که کاربرد ورمی‌کمپوست با اثر مثبت بر اجزای عملکرد و افزایش تولید دانه، اثرات کمبود آب را کاهش داده و منجر به افزایش کارایی مصرف آب می‌شود (Kazemi, Eskandari, & Mousavian, 2023) که با یافته‌های تحقیق حاضر همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، برای حصول حداکثر عملکرد دانه و روغن، بهتر است کلزا در ۲۵ آبان کشت شود و به‌صورت کامل (بدون قطع آبیاری در مرحله گلدهی) آبیاری شود. اعمال آبیاری محدود از طریق قطع آبیاری در مرحله گلدهی باعث کاهش عملکرد دانه و روغن در کلزا (به‌ترتیب ۵۸ و ۶۰ درصد) شد. با این حال، از آن‌جا که مصرف آب در شرایط قطع آبیاری کمتر شد، کارایی مصرف آب برای تولید دانه بهبود یافت. از طرف دیگر، کود ورمی‌کمپوست با در اختیار گذاشتن عناصر غذایی مهم به بهبود عملکرد دانه کلزا کمک کرد. به دلیل این‌که اثرات منفی قطع آبیاری در مرحله گلدهی بر عملکرد دانه کلزا زیاد بود، تغییر تاریخ کاشت (تاخیر در کاشت) نتوانست باعث جلوگیری از انطباق قطع آبیاری با مرحله گلدهی شود. از آن‌جا که برتری تاریخ کاشت ۲۵ آبان بر ۲۵ آذر محسوس بود، نیاز است اثر تاریخ کاشت‌های قبل از ۲۵ آبان بر کاهش احتمالی اثرات قطع آبیاری در مرحله گلدهی مورد بررسی بیشتر قرار بگیرد.

References

1. Abdipour, M., Rezaei, A., Hooshmand, S., & Raeisi, F. (2009). Effect of drought stress on yield and yield components of determinate soybean. *Journal of Agricultural Sciences*, *4*(14), 1-14. (in Persian with English abstract).
2. Ashraf-Jahani, M. S. (2023). *Agricultural statistics of crops*. Ministry of Agriculture Jahad, Tehran.
3. Ali, M. A. A., Hossain, M. N., Rahman, M. H., & Islam, N. (2012). Effect of vermicompost on growth, chemical composition and oil content of rapeseed. *Journal of Experimental Bioscience*, *3*(2), 91-96.
4. Anita Ierna, A., & Mauromicale, G. (2020). How moderate water stress can affect water use efficiency indices in potato. *Agronomy*, 1-12. https://doi.org/10.3390/agronomy10071034
5. Dossa, K., Li, D., Wang, L., Zheng, X., Liu, A., Yu, J., Wei, X., Zhou, R., Fonceka, D., Diouf, D., Liao, B., Cissé, N., & Zhang, X. (2017). Transcriptomic, biochemical and physio-anatomical investigations shed more light on responses to drought stress in two contrasting sesame genotypes. *Scientific reports*, *7*, 8755. https://doi.org/10.1038/s41598-017-09397-6
6. Elferjani, R., & Soolanayakanahally, R. (2018). Canola responses to drought, heat, and combined stress: shared and specific effects on carbon assimilation, seed yield, and oil composition. *Frontier in Plant Science*, *9*, 12-24. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01224
7. Eskandari, H., & Alizadeh-Amraie, A. (2017). Effect of complementary irrigation during reproductive growth period on grain yield, oil and energy efficiency of rapeseed under dry land farming system. *Journal of Crop Improvement*, *4*(18), 907-919. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2017.56663
8. Faraji, A. (2015). Evaluation the effect of temperature and photoperiod on growth and development periods of two canola cultivars. *Journal of Crop Improvement*, *4*(4), 1049-1062. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2015.55150
9. Farhadi, N., Souri, M. K., & Omidbaigi, R. (2012). Effect of sowing date on yield , yield component and oil

percentage of castor bean. *Journal of Crop Production*, *5*(1), 89-104. (in Persian with English abstract).
10. Golestani Far, F., Mahmoodi, S., Zamani, G. R., & Sayyari Zahan, M. H. (2017). Effect of drought stress on water use efficiency and root dry weight of wheat (*Triticum aesativum* L.) and rye (*Secale cereale* L.) in competition conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research, 15(2), 438-450.* (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/GSC.V15I2.53314
11. Gohari, G., Mohammadi, A., & Duathi Kazemnia, H. (2019). Effect of vermicompost on some growth and biochemical characteristic of *Dracocephalum moldavic*a L. under water salinity stress. *Agricultural Science and Sustainable Production, 1*(29), 151-168. (in Persian with English abstract).
12. Hatfield, J. L., & Dold, C. (2019). Water-Use Efficiency: Advances and Challenges in a Changing Climate. *Frontiers in Plant Science, 10,* 1-14. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103
13. Hazrati, S., Sadeghi-Bakhtvari, A. R., Kiani, D., & Zeinali, A. (2020). The Effect of organic, bio-fertilizer and chemical fertilizer on growth and yield of castor bean (*Ricinus communis*). *Journal of Plant Production*, *27*(2), (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/JOPP.2020.16303.2481
14. Heidarpour, O., Esmaielpour, B., Soltani Toolarood, A., & Khorramdel, S. (2020). Effect of vermicompost on morphophysiological biochemical and yield characteristics of summer savory (*Satureja hortensis* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology*, *3*(12), 507-522. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V12I3.79634
15. Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H., & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost levels on morphologic traits and nutrient concentration of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Pirouz) under water stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *4*(10), 531-546. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2017.120.1030
16. Jahangiri Nia, E., Siadat, S. A., Koochakzadeh, A., Moradi Telavar, M. R., & Sayyah, M. (2015). Effect of the usage of vermicompost and mycorrhizal fertilizer on quantity and quality yield of soybean in water deficit stress condition. *Journal of Crop Improvement*, *2*(18), 319-331. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2016.59877
17. Jalili, F., & Salimzdeh, S. (2017). *Effect of sulfur and vermicompost on yield of sunflower*. 15th Iranian Soil Science Congress. Isfahan, Iran. (in Persian with English abstract).
18. Javanmard, A., Haghaninia, M., Shekari, F., Khoshkhan, S., & Ostadi, A. (2022). The effect of green fertilizer, vermicompost, and chemical fertilizer on grain yield, oil content and composition of rapeseed. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *32*(3), 369-389. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/SAPS.2022.49055.2770
19. Joshi, N. L., Mali, P. C., & Sexena, A. (1998). Effect of nitrogen and sulphur application on yield and fatty acid composition of mustard (*Brassica juncea* L.) Oil. *Journal of Agronomy & Crop Science*, *180*, 59-63.
20. Kaboosi, K., Nodehi, A., & Shamiati, M. (2019). The effects of salinity stress and organic fertilizer on yield, oil and water use efficiency of different cultivars of canola. *Water Resources Engineering, 39*(11), 87-100. (in Persian with English abstract).
21. Kalantar Ahmadi, S. A., Ebadi, A., Siadat, S. A., & Tavakoli Hasanaklou, H. (2014). Effect of heat stress due to sowing date on grain yield of rapeseed cultivars in north Khuzestan conditions in Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences, 16*(1), 62-76. (in Persian with English abstract).
22. Kazemi, K., Eskandari, H., & Mousavian, S. N. (2023). The response of grain and oil production and water productivity of sesame to limited irrigation under the conditions of vermicompost application. *Journal of Crop Production and Processing*, *13*(2), 73-85. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.47176/jcpp.13.2.37781
23. Khamadi, F., Gharineh, M. H., & Bakhshandeh, A. A. (2014). Influence of sowing dates on yield and yield component of rape forage cultivars under Ahwaz condition. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi), 104*, 22-28. (in Persian with English abstract).
24. Khani, R., Sadeghi Bakhtvari, A. R., Pasban Eslam, B. & Sarabi, V. (2018). Effects of drought stress on canola (*Brassica napus* L.) genotypes yield and yield Components. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *4*(15), 914-924. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/GSC.V15I4.58356
25. Li, W. P., Shi, H. B., Zhu, K., Zheng, Q., & Xu, Z. (2017). The quality of sunflower seed oil changes in response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal*, *109*(6), 2499-2507. https://doi.org/10.2134/agronj2017.01.0046
26. Mirzaei-Takhtgahi, H., Ghamarnia, H., & Farmanifard, M. (2019). Effect of vermicompost and irrigation with contaminated water on yields and yield components of tomato and okra. *Journal of Water Research in Agriculture*, *4*(32), 555-566. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/jwra.2019.118524
27. Moghimi Banadkooki, A., Dehestani Ardakani, M., Shirmardi, M., & Momenpour, A. (2020). Effect of cow manure and vermicompost on decreasing salt stress in the common smoke tree (*Cotinus coggygria* Scop.), *Plant Process and Function, 9*(35), 179-192. (in Persian with English abstract).
28. Mohammadi, M., Mohammadi, H., & Javid, S. (2023). Investigation the factors affecting the type and amount of edible oil consumed by households in Mashhad county of Iran. *Agricultural Economics and Development*, *30*(3), 153-174. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.30490/AEAD.2023.356344.1387

29. Moradbeigi, L., Gholami, A., Shirani Rad, A. H., Abbasdokht, H., & Asghari, H. R. (2018). Effect of drought stress and delay cultivation on grain yield, oil yield and fatty acids composition in canola. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *2*, 135-151. (in Persian with English abstract).
30. Nasiri, M., Roozbahani, A., & Ziaei nasab, M. (2017). Effect of low irrigation and use of phosphate solubilizing bio-fertilizer on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, *8*(27), 32-43. (in Persian with English abstract).
31. Navabpour, S., Hezarjaribi, E., & Mazandarani, A. (2017). Evaluation of drought stress effects on important agronomic traits, protein and oil content of soybean genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *4*(10), 491-503. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2017.61.1021
32. Nazeri, P., Shirani Rad, A. H., Valad Abadi, S. A., Mirakhori, M., & Hadidi Masoule, E. (2019). The Effect of Planting Date and Late Season Drought Stress on EcoPhysiological Characteristics of the New Varieties of Canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Agroecology, 1*(11), 261-276. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V11I1.67311
33. Noorgholizadeh, F., Rezaie, H., Mirzashahi, K., Haghighatnia, H., Ramazanpour, M. R., Arzanesh, M. H., Asadi Rahmani, H., Mirzapour, M. H., Afzali, M., Tehrani, M. M. M & Ghaibi, M. N. (2014). *Integrated management guidelines of Soil fertility and rapeseed nutrition*. Soil and Water Research Institute, Tehran. (in Persian).
34. Nouriyani, H. (2015). Effect of different nitrogen levels on yield, yield components and some quality characteristics of two cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, *5*(16), 233-241. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.16.233
35. Poureisa, M., & Nabipour, M. (2007). *Effect of planting date on canola phenology, yield and yied components*. 12th Innovation in Rapeseed and Canola Congress, Wuahn, China.
36. Rahnama, A. A. (2010). Effect of planting date on yield and yield components of two cultivars of rapeseed in Khuzestan region. *New Knowledge of Sustainable Agriculture*, *20*, 13-22. (in Persian with English abstract).
37. Rahnama, A. A., & Jafar Nezhadi, A. R. (2009). Determination of optimum nitrogen levels in different planting dates of canola in Khuzestan. *Plant Production, 1*(1), 53-63.
38. Rajiv, S., Sunil, H., Dalsukhbhai, V., & Krunalkumar, C. (2009). Earthworms vermicompost: a powerful crop nutrient over the conventional compost & protective soil conditioner against the destructive chemical fertilizers for food safety and security. *American-Eurasian Journal of Agriculture & Environmental Science*, *5*, 01-55.
39. Rashtbari, M., & Alikhani, H. A. (2012). Effect and efficiency of municipal solid waste compost and vermicompost on morpho-physiological properties and yield of canola under drought stress conditions. *Agricultural Science and Sustainable Production*, *22*(2), 113-127. (in Persian with English abstract).
40. Sabouri, A., Gholamhoseini, M., Bazrafshan, F., Habibzadeh, F., & Amiri, B. (2022). Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on yield, inputs use efficiency and seed quality of sesame cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *2*(53), 221-234. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/IJFCS.2021.319665.654807
41. Sajadi Nik, R., & Yadavi, A. R. (2013). Effect of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth indexes, phonological stages and grain yield of sesame. *Journal of Crop Production*, *6*(2), 73-99. (in Persian with English abstract).
42. Salak Mearaji, H., & Tavakoli, A. (2020). Evaluation of yield and some traits of two safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *3*(13), 763-775. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2020.2254.1575
43. Samadzadeh Ghale Joughi, E., Eslam Majidi Hervan, E., Shirani Rad, A. H., & Noormohammadi, G. (2018). Effect of ermicompost fertilizer application on physiological characteristics of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes in Ttwo sowing dates. *Journal of Crop Echophysiology*, *12*(2), 269-286. (in Persian with English abstract).
44. Seimrizade, S., Moshatati, A., Bakhshandeh, A. A., Khodaei Joghan, A., & Koochekzadeh, A. (2021). The Effect of vermicompost on yield and yield components of wheat under terminal heat stress conditions in Ahwaz. *Environmental Stresses in Crop Science*, *4*(14), 1139-1145. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2020.3384.1853
45. Shahrusvand, S., Eisvand, H. R., Nazarian Firozabadi, F., & Feizian, M. (2019). Effect of sulphur and vermicompost application on agronomic traits of hubbit cultivar of soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Crop Echophysiology*, *3*(13), 447-460. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.30495/JCEP.2019.669715
46. Talebi, M. (2022). *Comprehensive biochemistry*. Payame Noor University. Tehran.
47. Toulabi, F., Eisvand, H. R., & Goodarzi, D. (2021). Effects of vermicompost and zinc element foliar application on yield and baking quality of wheat under terminal moisture limitation stress conditions. *Cereal Research*, *11*(3), 205-223. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22124/CR.2022.20864.1695
48. Wei, Z., Du, T., Zhang, J., Xu, S., Cambre, P. J., & Davies, W. J. (2016). Carbon isotope discrimination shows a higher water use efficiency under alternate partial root zone irrigation of field-grown tomato. *Agricultural Water Management*, *165*, 33-43. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.11.009

49. Yadollahi, P., Asgharipour, M. R., Marvane, H., Kheiri, N., & Amiri, A. (2017). The effects of drought stress on grain and oil yield of two cultivars of sunflower. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, *1*(1), 65-76. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/CSRAR.01.01.06
50. Zali, H., Hasanloo, T., Sofalian, O., & Asghari, A. (2020). Evaluation of drought stress effect on seed oil yield and fatty acid composition in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *3*(13), 735-747. https://doi.org/10.22077/escs.2020.2205.1552
51. Zhang, B., Lio, W., Chang, S. X., & Anyia, A. (2010). Water-deficit and high temperature affected water use efficiency and arabinoxylan concentration in spring wheat. *Journal of Cereal Science*, *52*, 263-269. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.05.014
52. Zhao, W., Liu, L., Shen, Q., Yang, J., Han, X., Tian, F., & Wu J. (2020). Effects of water stress on photosynthesis, yield, and water use e*ffi*ciency in winter wheat. *Water*, *12*, 1-19. https://doi.org/10.3390/w12082127